



Katarina Čufar, Tom Levanič

# DENDROKRONOLOGIJA KOT METODA ZA DATIRANJE LESA

## DENDROCHRONOLOGY AS A METHOD FOR DATING WOOD

### Izvleček

Predstavljena je dendrokronologija kot metoda za datiranje lesa, problemi pri sestavljanju referenčnih kronologij, dosedanje rezultati raziskav v Sloveniji in pomen dendrokronologije za konzervatorstvo in restavratorstvo.

*Ključne besede:* dendrokronologija, les, leseni umetniški in zgodovinski predmeti, datiranje, konzervatorstvo, restavratorstvo.

### Uvod

Dendrokronologija je veda, ki omogoča datiranje in razlago preteklih dogodkov s pomočjo raziskave lesa. V zadnjih desetletjih je metoda v svetu in v Evropi doživela velik razmah. Uporabljajo jo med drugim za določevanje starosti zgodovinskih objektov, pohištva, umetniških slik na lesu in inštrumentov, pogosto pa tudi za ločevanje umetniških originalov od njihovih kopij. S pomočjo raziskav so lahko pojasnili številna vprašanja o preteklih dogodkih ter razložili, kje in kako sta v Evropi potekala prevoz in trgovina z lesom.

Metoda ima tudi omejitve. Za datiranje mora biti na razpolago zadostna količina lesa primerne kvalitete. Les za analizo mora biti primerno orientiran in mora imeti čim več branik. Ker je les biološki material zelo raznolikih lastnosti, vseh vzorcev ni mogoče datirati.

V Sloveniji do pred kratkim ni bilo sistematičnih dendrokronoloških raziskav za potrebe datiranja. Pričele so se s triletnim projektom Ministrstva za znanost in tehnologijo (MZT) *Uvajanje dendrokronologije v Sloveniji* v letu 1993, nadaljujejo pa se v tekočem projektu MZT *Dendrokronološke raziskave v Sloveniji*. Projekt teče na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete pod vodstvom prof. dr. Katarine Čufar, polni raziskovalec pri projektu pa je dr. Tom Levanič. Projekt sofinancira Restavratorski center republike Slovenije z direktorjem dr. Josipom Korošcem, interdisciplinarno sodelovanje pa koordinira ing. Elizabeta Benko-Mächtig. V pričujočem prispevku predstavljamo dendrokronologijo kot metodo za datiranje lesa in trenutno stanje raziskav v Sloveniji.

### Abstract

We present dendrochronology as the science of dating by comparative studies of growth rings in wood, the problems when constructing reference chronologies, the present state of dendrochronological research in Slovenia, and its importance for conservation and restoration of wood objects of art and history.

*Key words:* dendrochronology, wood objects of art and history, dating, conservation, restoration

### Introduction

Dendrochronology is the science of dating events and variations in the environment in former periods by comparative study of growth rings in trees and aged wood. Its importance has been consistently increasing in the last decades. Among others, it is used to determine the age of timbers from buildings, furniture, paintings on wooden panels, musical instruments. It makes possible distinguishing original objects of art from their copies. Many questions on past events, including transport



Izvrtek lesa iz živega drevesa takoj po odvzemu.

*A core of wood just taken from a living tree.*



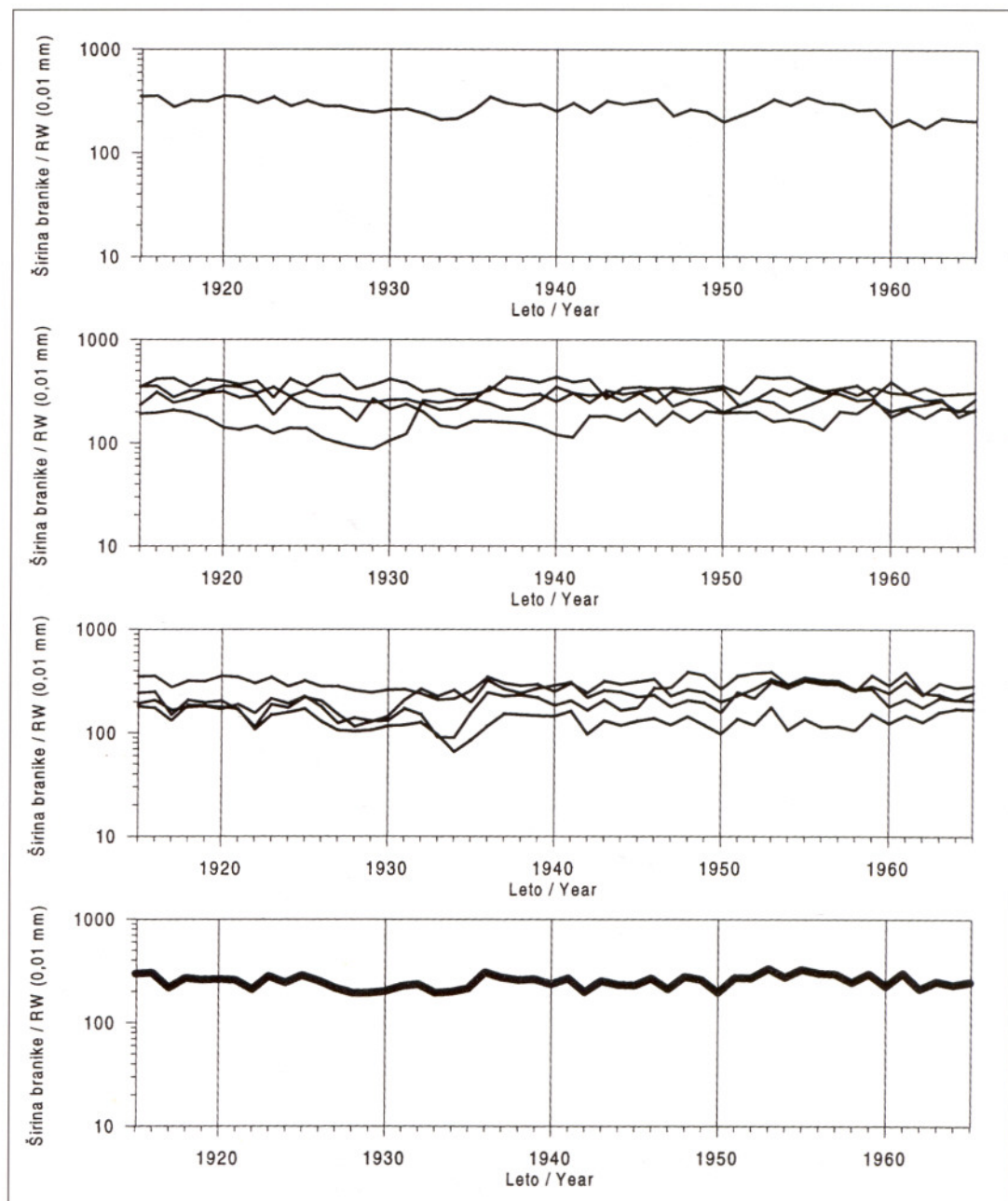
Oprema za merjenje širin branik: mizica LINTAB in stereo mikroskop. Sistem je povezan z osebnim računalnikom.

*Equipment for tree-ring measurement. The LINTAB measuring table and a stereo microscope connected with a personal computer.*



(A) Širine branik v odvisnosti od časa. (B) Zaporedja širin branik več vzorcev pred sinhroniziranjem in (C) po njem. (D) Povprečje širin branik (debela črta) izračunano na osnovi več zaporedij širin branik (tanke črte).

(A) Tree-ring widths vs. time. (B) Tree-ring series of several specimens before and (C) after cross-dating. (D) Mean curve (bold line) based on several tree-ring series (thin lines).



## Potek dendrokronološke analize

Metoda temelji na predpostavki, da drevesa našega podnebnege pasu vsako leto prirastejo za eno prirastno plast, ki jo v prečnem prerezu debla ali hloda vidimo kot kolobar in jo strokovno imenujemo branika. Mejo med dvema branikama imenujemo letnica (Torelli, 1990). (V pogovornem jeziku izraz letnica uporabljamo za poimenovanje branike.) Posebno v branikah lesa iglavcev lahko jasno razločimo redkejši rani les in gostejši kasni les. Širine branik v zaporednih letih praviloma niso enake, pač pa variirajo. Na variiranje vplivajo številni dejavniki, od klime do vrojenih značilnosti drevesne vrste, kvalitete rastišča, utesnjenosti drevesa in drugih. Drevesa iste drevesne vrste na istem območju navadno

and timber trade, were explained by dendrochronological analyses.

The method also has limitations. For successful dating, certain amounts of wood of adequate quality must be available. The orientation of the wood and numbers of tree-rings are also important. Due to the highly variable nature of wood, it is never possible to date all investigated samples.

Until recently there were no systematic dendrochronological investigations in Slovenia. They started in 1993 with the project *Establishing dendrochronology in Slovenia* at the Department of Wood Science and Technology, Biotechnical Faculty, University of Ljubljana. It was funded by the Ministry of Science and Technology of the Republic Slovenia. The work of this first project has been continued by a



izkazujejo podobno variiranje širin branik. To omogoča, da za potrebe datiranja za isto drevesno vrsto in regijo lahko vzpostavimo standardno referenčno kronologijo.

Dendrokronološko analizo izvajamo na primerno orientiranih lesenih vzorcih, z vsaj 40 branikami. V našem laboratoriju širine branik merimo z napravo LINTAB, povezano z osebnim računalnikom in programom TSAP/X. Med merjenjem les opazujemo s stereo mikroskopom pri povečavi 10 do 100-krat in meritve opravimo na 0.01 mm natančno. Po merjenju širine branik grafično prikažemo v odvisnosti od časa. Nastali graf imenujemo zaporedje širin branik. V nadaljevanju zaporedja več vzorcev medsebojno primerjamo in jih združujemo v kronologijo.

Če kronologijo sestavimo iz vzorcev dreves, za katera poznamo leto nastanka zadnje branike, kronologijo lahko datiramo. To pomeni, da za vsako braniko določimo koledarsko leto, v katerem je nastala. Za datiranje zgodovinskega lesa potrebujemo datirano referenčno kronologijo za proučevano lesno vrsto, regijo in obdobje. Datiranje izvedemo tako, da kronologijo objekta vizualno in statistično primerjamo z referenčno kronologijo. V našem laboratoriju pri datiranju krivulj vizualno primerjamo in izračunamo kazalnike: koeficient skladnosti (nem. *Gleichläufigkeit*),  $t_{BP}$  - t vrednost po Baillieu in Pilcherju, indeks datiranja (angl. *date index*) in izračun značilnih let in intervalov.

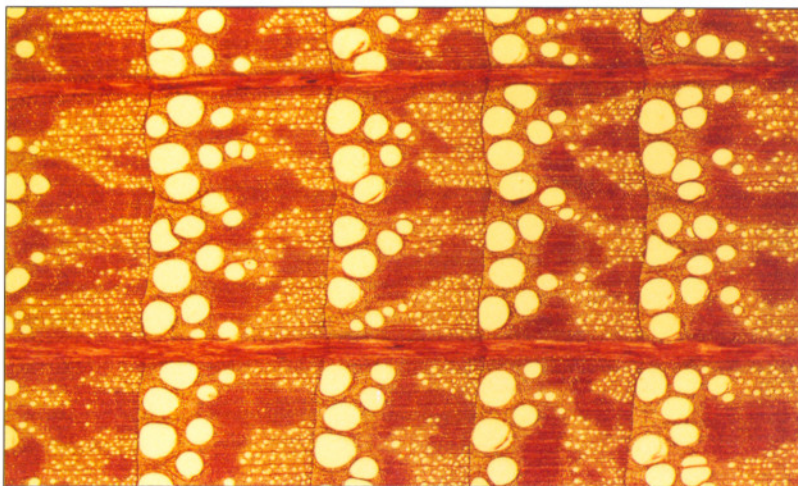
## Standardne referenčne kronologije za datiranje

V Ameriki rastejo mamutovci in vrste borov, ki dosegajo starosti do 4000 let in več. Tam so s pomočjo izvrtkov lesa iz živih dreves obeh vrst lahko sestavili več tisoč let dolge sklenjene kronologije (npr. Ferguson, 1969). V Evropi drevesa le redko dosegajo starost do 500 let. Kronologije starih dreves je zato treba podaljšati z zgodovinskim, arheološkim in subfossilnim lesom. Standardne kronologije za datiranje so tako "lepljenke" krajših kronologij. Najdaljše evropske kronologije so kronologije hrasta, med njimi južno nemška hrastova kronologija iz laboratorija Hohenheim, ki presega 10.000 let (Becker, 1993). Za njeno sestavo je pokojni Becker s sodelavci potreboval preko 5000 večinoma subfossilnih debel. Dolge hrastove kronologije so še na primer severnoirska, ki sega do 5479 pr.n.š., angleška - 4989 pr.n.š. in severno nemška - do 6200 pr.n.š. (Baillie, 1995). V zadnjih letih so pri sestavljanju dolgih kronologij uspešni tudi na Nizozemskem, Poljskem, v Baltskih državah in drugod. V



Prečni prerez lesa polvenčasto porozne češnje. Število trahej v ranem lesu je večje kot v kasnem lesu.

*Cross-section of semi-ring-porous cherry. The number of vessels is greater in early-wood.*



Prečni prerez lesa venčasto poroznega hrasta. Branike so razločne zaradi velikih trahej v ranem lesu.

*Cross-section of ring-porous oak. The growth-ring boundaries are distinct due to large early-wood vessels.*

current project *Dendrochronological research in Slovenia* funded by the same ministry and by the Restoration Centre of the Republic Slovenia.

We present dendrochronology as a method of dating and the progress of dendrochronological research in Slovenia.

## Tree-ring analyses

Dendrochronology is based on investigation of tree-ring characteristics, most often by their widths (Fig. 1). Tree-ring widths vary from year to year depending on different factors affecting tree growth. The ring patterns, of trees belonging to the same species from the same region usually show similarity, making it possible to construct reference chronologies. For measuring tree-ring widths the laboratory at the Department of Wood Science uses a LINTAB measuring device connected with an IBM-compatible personal computer and the TSAP/X programme. Cross-dating of tree-ring



območju južno od Alp tako dolgih hrastovih kronologij ni.

Laboratoriji, ki razpolagajo z najdaljšimi kronologijami, imajo že dolgo tradicijo, ki sega v leta po drugi svetovni vojni. V zadnjem desetletju v Evropi narašča zanimanje za dendrokronološke raziskave. Ustanavljajo nove laboratorije, ki so pogosto ozko specializirani, npr. za datiranje predzgodovinskih koliščarskih naselij, za ekološke raziskave na živem drevju ipd. Ti laboratoriji praviloma razpolagajo s kronologijami za omejena časovna obdobja in regije, glede na namen, za katerega so bile sestavljene.

V Sloveniji smo se odločili za celovit pristop k dendrokronologiji. Metodo razvijamo tako za potrebe datiranja kot za ekološke raziskave.

### Stanje dendrokronologije v Sloveniji

V uvodnem delu so bili cilji projekta opremiti laboratorij in usposobiti raziskovalce za raziskave lesa dreves ter zgodovinskega in arheološkega lesa. Ob začetku projekta ni bilo v Sloveniji nobene referenčne kronologije. Zaradi velike klimatske in fitogeografske raznolikosti ni bilo znano, ali bi za datiranje potrebovali eno ali več regionalnih kronologij najpomembnejših lesnih vrst. Manjkale so informacije o podobnosti rastnih vzorcev dreves v Sloveniji in v sosednjih deželah. Na razpolago tudi ni bilo podatkov o primerljivosti kronologij različnih lesnih vrst na istem rastišču.

Da bi odgovorili na našeta vprašanja, smo najprej začeli s sestavljanjem kronologij najpomembnejših drevesnih vrst iz različnih rastišč v Sloveniji (Levanič in Čufar, 1995). Izkazalo se je, da so drevesa v najstarejših sestojih pri nas le redko stara več kot 300 let. Kronologije starih dreves smo podaljšali z lesom iz starih stavb, ki smo jih raziskali večinoma v sodelovanju z Restavratorskim centrom republike Slovenije. Sestavljanje kronologij in primerne datiranj predstavljata Levanič in Čufarjeva (ta zbornik). Natančnejši pregled dendrokronoloških raziskav v Sloveniji ob koncu leta 1997 je predstavljen v članku Čufarjeve in Levaniča (1998).

Lesne vrste, najpogostejše v konstrukcijah iz preteklih obdobj in primerne za dendrokronologijo so jelovina, macesnovina, smrekovina in hrastovina. V koliščarskih naseljih Ljubljanskega barja sta najpomembnejši hrastovina in jesenovina. Na veliko razočaranje konzervatorjev, restavratorjev in umetnostnih zgodovinarjev lipovina, ki jo pogosto uporabljajo za izdelavo skulptur, ni primerna za dendrokronologijo.

series is made by visual comparison, by calculating standard parameters such as the coefficient of coincidence (Ger. *Gleichläufigkeit*), the  $t_{BP}$  -  $t$  value after Baillie and Pilcher, the date index, as well as signature years and intervals.

### Standard reference chronologies for dating

The first long continuous reference chronologies were constructed in the United States of America. They were based on analyses of extremely old trees, such as bristlecone pines, and it was possible to construct multi millennial chronologies (Ferguson 1969). But the ages of the oldest European trees rarely exceed 500 years, therefore the long reference chronologies are composed of shorter chronologies of trees and historic, archaeological, or subfossil woods. The longest European chronology is the south German oak one of the laboratory of Hohenheim. It exceeds 10000 years (Becker 1993). The late Becker with his team had to investigate over 5000 mostly subfossil stems to construct it. Such oak chronologies also exist in Northern Ireland extending back to 5479 BC, in England to 4989 BC, in Northern Germany - laboratory Göttingen to 6200 BC (Baillie 1995). Beside these, long chronologies have also been constructed for the Netherlands, Poland, and other countries North from the Alps. In Slovenia and neighbouring countries there are no long oak chronologies as the laboratories mostly constructed those of different conifer species for the last millennium.

### The present state of dendrochronological research in Slovenia

When a new dendrochronological laboratory was established, no reference chronologies existed nor was there any knowledge on the possibilities to teleconnect them with those from neighbouring countries. There was also no information on cross-dating of different species. The first chronologies were based on wood from living trees from different species and sites in Slovenia. Investigations of historic buildings, mostly in cooperation with the Restoration Centre, enabled us to prolong them and to use them for dating.

The most frequent and important species nowadays and in the past - silver fir, larch, Norway spruce and oak - were selected to construct the first chronologies. Lime-wood (*Tilia* sp.), often used for objects of arts, is not appropriate for dendrochronological dating.



Sredi leta 1999 sta najbolj raziskani lesni vrsti v Sloveniji jelovina in macesnovina. Sestavili smo 876 let dolgo jelovo kronologijo. Z njo lahko datiramo les iz vse Slovenije, ki je nastal med leti 1120 in 1995. Macesnova kronologija je dolga 1242 let. Sestavili smo jo v sodelovanju z Olivio Pignatelli iz laboratorija DENDRODATA v Veroni v Italiji. Z njo lahko datiramo les, nastal v obdobju od leta 756 do 1997.

Pri primerjavi jelovih in macesnovih kronologij iz Slovenije s tistimi iz drugih srednjeevropskih regij smo večkrat ugotovili statistično značilne podobnosti (Levanič in Čufar 1995, 1998). Za les, ki ga je mogoče datirati z domačimi in primerjati s tujimi kronologijami, lahko pogosto ugotovimo tudi geografsko regijo, od koder izvira.

Pri sestavljanju smrekovih in hrastovih kronologij nismo bili tako uspešni. Trenutno obstoječe smrekove in hrastove kronologije ne presegajo 300 let in temeljijo na lesu dreves. Za obe vrsti smo sestavili preko 10 kronologij za različna območja v Sloveniji. Ugotovili smo, da se rastni vzorci smreke in hrasta razlikujejo že znotraj Slovenije in da nobena od kronologij ni bila statistično značilno podobna ustreznim kronologijam iz sosednjih regij. Raziskave obeh zelo pomembnih lesnih vrst se nadaljujejo, kopičijo pa se tudi trenutno še nedatirane kronologije iz preteklih obdobj.

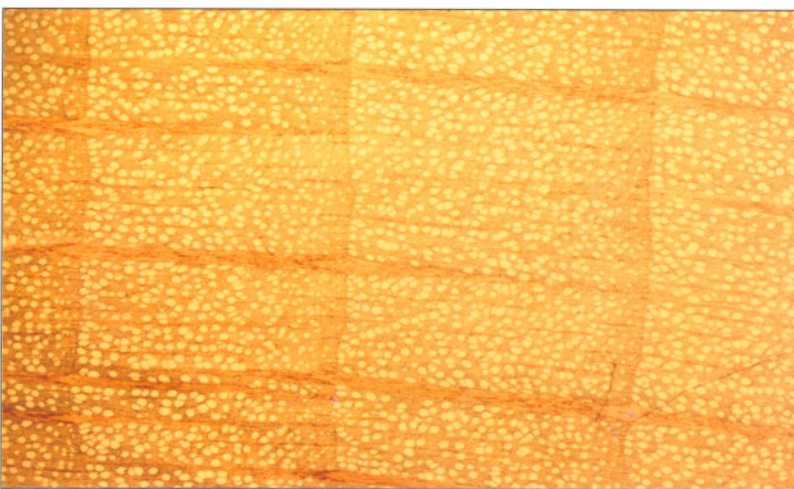
Opravljene so bile tudi uvodne raziskave subfosilnega lesa, ohranjenega v deblih, ki ležijo pod vodo, v rekah ali močvirjih. Les ni mineraliziran, njegova struktura pa je tudi po več sto ali celo več tisoč letih dokaj dobro ohranjena. Poročajo, da je na Ljubljanskem barju, v strugi Ljubljanice ter v porečju Drave in Mure veliko subfosilnih debel. Subfosilna hrastovina je črno obarvana. Doslej smo raziskali 14 subfosilnih hrastovih debel iz Ljubljanskega barja, in več debel iz Podravja, dobljenih zaporedij širin branik pa še nismo uspeli datirati.

Na Ljubljanskem barju smo v sodelovanju z Arheološkim inštitutom ZRC SAZU opravili pilotske raziskave lesa iz 6 koliščarskih naselij. Skupaj smo razvili metodo za odvzem, pripravo in laboratorijske raziskave mokrega lesa iz kolišč. Sestavili smo 11 kronologij jesena, hrasta, jelke in bukve (Čufar et al., 1997). Dendrokronološko dokumentirane vzorce kronologij smo poslali na radiokarbonsko datiranje v Heidelberger Akademie der Wissenschaften. Radiokarbonske raziskave so v teku, prvi rezultati datiranja pa potrjujejo obstoj koliščarskih naselbin v sredini četrtega in v sredini tretjega tisočletja pr. n. št. Tu naj omenim, da so kolegi iz Verone v sodelovanju z laboratorijem iz Heidelberga radiokarbonsko



Prečni prerez lesa macesna z razločnimi branikami in ostrim prehodom med ranim in kasnim lesom.

Cross-section of larch with distinct growth-rings and abrupt transition from early- to late- wood.



Prečni prerez lesa difuzno porozne bukve. Traheje so dokaj enakomerno razporejene po prerezu, branike so manj razločne.

Cross-section of diffuse-porous beech. The vessels are uniformly distributed and the growth-ring boundaries are less distinct.

The silver fir (*Abies alba* Mill.) was most frequently investigated. In 1999 its Slovene regional chronology is 876 years long and covers the period from 1120 - 1995. The chronology of the larch (*Larix decidua* Mill.) was constructed in cooperation with Olivia Pignatelli from the DENDRODATA laboratory in Verona, Italy. It covers the period of 756 - 1997 and is 1242 years long. Tree-ring patterns of silver fir and larch were in some cases similar with those from other European regions (c.f. Levanič & Čufar 1995, 1998).

The chronologies of the Norway spruce (*Picea abies* Karst.) and oaks (sessile oak / *Q. petraea* (Matt.) Liebl. / and the common European oak / *Q. robur* L. / ) are only up to 300 years long. The tree-ring patterns of spruce and oak showed great variability within Slovenia and no statistically significant similarity with those from other European regions. The investigations of



datirali bronastodobno hrastovo kronologijo z natančnostjo  $\pm 10$  let (Martinelli, 1996).

Dendrokronološki laboratorij na Oddelku za lesarstvo je vključen v mednarodne baze podatkov: Evropski katalog kronologij (Hillam, 1997) in v mednarodno banko podatkov ITRDB pri NOAA, Boulder, Colorado, ZDA. Izmenjava kronologij poteka z laboratoriji iz Hohenheima in Hamburga v Nemčiji, Verone v Italiji, Innsbrucka in Dunaja v Avstriji in z drugimi. Leta 1998 se je vodenje evropskega kataloga kronologij preselilo v Ljubljano. Vodi ga dr. Tom Levanič.

## **Pomen dendrokronologije za konzervatorstvo in restavratorstvo**

V zadnjem času v velikih evropskih konzervatorskih restavratorskih centrih v Evropi pri večjih projektih, ki vključujejo objekte iz lesa, sodelujejo tudi dendrokronologi. V konzervatorsko restavratorskih ateljejih imajo priložnost pregledati lesene predmete in izbrati tiste, ki so primerni za dendrokronološko analizo. Tako sodelovanje se vse bolj uveljavlja tudi v Sloveniji.

Ker konzervatorji in restavratorji datum nastanka številnih objektov poznajo, se dendrokronolog ne ukvarja samo z datiranjem, pač pa tudi z raziskavami lesa znane starosti. Dendrokronološki podatki datiranega lesa se uporabljajo za sestavljanje standardnih kronologij, ki so nujne za datiranje objektov neznane starosti. V splošnem velja, da je smiselno dendrokronološko raziskati les takrat, ko ga konzerviramo ali restavriramo, saj je praviloma po končanem delu "nedostopen" za raziskave. Uporabne podatke za datiranje pogosto nudijo tudi sekundarni, skriti deli umetniškega predmeta kot so ogrodja, okviri in hrbtišča. Ti včasih vsebujejo več lesa, primerne za analizo, kot sam umetniški predmet. Primer za to so zlati oltarji. Pri njih so rezljani deli večkrat neprimerni za analize, vendar so pogosto na originalnem ogrodju iz lesa iglavca, ki ga lahko dendrokronološko datiramo.

Pri dendrokronološkem datiranju je ključnega pomena, katero lesno vrsto raziskujemo. Smrekovina in jelovina sta na primer zelo podobni lesni vrsti, vendar imata zelo različne ekološke in dendrokronološke značilnosti. Če bi npr. smrekovino želeli datirati z jelovo kronologijo, bi imeli zelo malo možnosti za uspeh. Za natančno identifikacijo lesa, ki je navadno zelo spremenjen zaradi starosti, moramo les pregledati pod mikroskopom. Pomen pravilne identifikacije lesa je predstavljen v prispevku Zupančiča in Čufarjeve (ta zbornik).

both species continue. There are several floating chronologies which cannot be dated yet.

We also investigated several subfossil oak stems. Such wood is not petrified and is usually preserved over hundreds or thousands of years in rivers or bogs. Our stems were found in the Ljubljana Moor and in the river Drava, but the tree-ring series of investigated stems have not been dated yet.

In co-operation with the *Scientific Research Centre of the Slovene Academy of Sciences and Arts*, the *Institute of Archaeology* we investigated the timbers from six Eneolithic pile dwellings from the Ljubljana Moor and constructed 11 chronologies of ash (*Fraxinus* sp.), oak, silverfir, and beech (*Fagus sylvatica* L.). Among them those of oak and ash predominated. Dendrochronologically documented samples of timbers were sent to *Heidelberger Akademie der Wissenschaften, Radiometrische Altersbestimmung von Wasser und Sedimenten* to be dated by radiocarbon and this analyses continue. The results confirmed the existing of prehistoric pile dwellings in the middle of the fourth and the third Millennium BC. The colleagues from Verona, Italy obtained in co-operation with the laboratory from Heidelberg a date range of  $\pm 10$  years for their Bronze age oak chronology (Martinelli 1996).

The dendrochronological laboratory at the Department of Wood Science is included in the European Catalogue of Tree-Ring Chronologies (Hillam 1997) and the International Tree-Ring Data Bank (ITRDB) at Boulder, Colorado, USA. It exchanges data with laboratories from Hohenheim and Hamburg Germany, Verona Italy, Innsbruck and Vienna, Austria and others. Since 1998 the European Catalogue is directed by Dr. Tom Levanič from Ljubljana.

## **Dendrochronology and conservation restoration**

Especially in the last decades conservation restoration centres in larger projects co-operate with dendrochronologists. They inspect the wood during the process of conservation restoration and select samples appropriate for research.

The objects dated by archived documents provide suitable material for extending and improving reference chronologies. Generally, it is accepted that it is worthwhile to investigate wood during conservation restoration, before it becomes "invisible" when the conservation restoration is finished. Wood from frameworks of art objects often provides suitable material for dating. For example, the wood from golden altars can



Dendrokronološke raziskave zahtevajo dolgotrajno sistematično delo. Nadaljujemo raziskave za podaljšanje in izboljšanje obstoječih kronologij, da bi rezultate lahko čimbolj uspešno uporabljali tudi v konzervatorstvu in restavratorstvu. K sodelovanju bi radi pritegnili čim več ustanov, ki se pri delu srečujejo z zgodovinskim in arheološkim lesom.

not be non-destructively sampled and is often not appropriate for dendrochronology, but if the framework of the altar is original, the object can be dated based on the wood from the construction.

Exact wood identification is essential for successful dating as it helps to select the proper reference chronology for dating. It should be noted that this possibility is much greater when this is made by using the reference chronology of the same wood species. Structural features of historic wood can often be hardly seen by the naked eye or a simple magnification lens. Therefore, thin slides for microscopic investigation are recommended. Identification of wood is discussed in the article of Zupančič and Čufar in this issue.

## Literatura / Bibliography

- Baillie, M.G.L. (1995). A slice through time B.T. Batsford Ltd., London.
- Becker, B. (1993). An 11,000-year German oak and pine chronology for radiocarbon and Calibration, - Radiocarbon 35: 201-213.
- Čufar, K., Levanič, T. & Velušček, A. (1997). Dendrokronološke raziskave na kolišču Založnica in Parte, (Dendrochronological investigations in the pile dwelling Založnica and Parte from the Ljubljana Moor).- Arheološki vestnik 48: 15 - 26.
- Čufar, K. & Levanič, T. (1998). Referenčne kronologije za dendrokronološko datiranje v Sloveniji - stanje 1997, Arheološki vestnik 49: 63-73.
- Ferguson, C. W. (1969). A 7104-year annual tree-ring chronology for bristlecone pine, *Pinus aristata*, from the White mountains, California, Tree Ring Bulletin 29 (3-4), 3- 19.
- Hillam, J. (1997). The European catalogue of tree-ring chronologies, Dendrochronologia 15, v tisku (in print).
- Levanič, T., Čufar, K. (1995). Three local silver fir (*Abies alba* Mill.) chronologies from the Dinaric phytogeographic region of Slovenia, Dendrochronologia 13: 127-134.
- Levanič, T. & Čufar, K. (1998). The chronology of the silver fir (*Abies alba* Mill.) from Pohorje, Slovenia (Kronologija jelke /*Abies alba* Mill./ za območje Pohorja), Zbornik gozdarstva in lesarstva 55: 135-149.
- Martinelli, N. (1996). Datazioni dendrochronologiche per l'età del bronzo dell'area Alpina, Acta Archaeologica 67: 315-326.
- Torelli, N. (1990). Les in skorja (Slovar strokovnih izrazov), - Oddelek za lesarstvo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Ljubljana.